نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۶۴۵-۶۳۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 631-645
ISSN: 2008 - 4730

مقاله پژوهشی

تأثیر کتیرا روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و مرتبط با عملکرد دانه گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط خشکی

یوسف سهرابی[1]*- هاوری کیانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰

چکیده

تعرق برای انجام فتوسنتز، فرآیندی ضروری است که با توجه به شرایط در مواردی می‌تواند مضر باشد. بنابراین استفاده از مواد ضد تعرق می‌تواند یکی از روش‌های کارآمد در کاهش میزان اتلاف آب به واسطه تعرق و راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاه و تعدیل کاهش عملکرد ناشی از کمبود آب در نواحی خشک و نیمه خشک باشد. در همین راستا به‌منظور بررسی اثر رژیم‌های آبیاری و کاربرد غلظت‌های مختلف کتیرا (تراوه خشک شده‌ی طبیعی حاصل از برخی گونه‌های *Astragalus* بر گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان در سال ۱۳۹۷ به‌اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل آبیاری در سه سطح ۱۰۰ (آبیاری کامل)، ۷۰ (تنش ملایم خشکی) و ۴۰ (تنش شدید خشکی) درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی کتیرا در شش غلظت صفر، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ گرم در لیتر بودند. نتایج نشان داد افزایش شدت تنش خشکی (کاهش آبیاری) منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل کل، کارآیی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گردید. تأثیر کاربرد غلظت‌های مختلف کتیرا در سطوح مختلف آبیاری متفاوت بود. در آبیاری کامل، غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر بر تمامی صفات مورد مطالعه مثبت بود. در تنش ملایم خشکی استفاده از غلظت‌های بیشتر کتیرا تا غلظت ۵ گرم در لیتر بهترین کارآیی را داشت و غلظت‌های بیشتر از آن به تأثیر معکوس بر صفات مورد بررسی منجر گردید. در تنش شدید خشکی، کاربرد غلظت‌های بیشتر کتیرا مفید بود و مصرف کتیرا تا غلظت ۷/۵ گرم در لیتر باعث بهبود صفات بررسی شده گردید، ولی مصرف غلظت ۱۰ گرم در لیتر بر صفات مذکور تأثیر منفی داشت. با توجه به تأثیری که غلظت مناسب کاربرد این ماده در بهبود صفات اندازه‌گیری شده داشت و توانست عملکرد دانه را نسبت به عدم مصرف کتیرا در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی به‌ترتیب ۱۱/۶ و ۲۸/۲ درصد افزایش دهد، احتمالا کتیرا می‌تواند به‌عنوان یک ماده ضدتعرق جدید با منشاء طبیعی معرفی گردد و کاربرد آن در مناطقی که با تنش خشکی مواجه هستند می‌تواند مفید و قابل توصیه باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کارآیی فتوسیستم II، کلروفیل، ماده ضد تعرق، محتوی نسبی آب

مقدمه

تغییرات اقلیمی از جمله مشکلات ناگوار زیست محیطی است که در دو دهه اخیر جامعه بشری با آن رو به رو بوده است. گرما و خشکی، تنش‌های غیر زیستی هستند که از مهمترین عوامل محیطی تأثیرگذار قلمداد می‌گردند که اغلب، کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی را موجب می‌شوند (۳۶). بیش از یک چهارم سطح زمین جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک است و تخمین زده شده است که یک سوم از اراضی قابل کشت تحت شرایط کمبود آب می‌باشد (۱۴ و ۱۵). بنابراین، کمبود آب اغلب اولین عامل محدودکننده برای تولید گیاهان در شرایط خشک و نیمه‌خشک است (۹). تنش کمبود آب باعث کاهش محتوای آب برگ گیاه می‌شود (۳۴) و در نتیجه، سلول‌ها چروک خورده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد، هم‌چنین محتوای کلروفیل گیاه کاهش می‌یابد (۴۴). در واقع، خشکی تنشی است که فتوسنتز گیاه را محدود می‌کند، باعث ایجاد تغییر در محتوای کلروفیل و صدمه به ساختارهای فتوسنتزی

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: y.sohrabi@uok.ac.ir)
DOI: 10.22067/JHS.2021.69276.1033

می‌گردد (۲۵). و در نهایت رشد رویشی گیاه نیز کاهش می‌یابد (۴). همچنین به تبع کاهش رشد گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه نیز در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابند (۳۱). افزایش فرآیندهای فتوسنتز و افزایش کارآیی آب مصرفی می‌تواند، راهکار مناسبی در برابر تغییرات اقلیمی باشد (۱۲). در حقیقت تعرق برای انجام فتوسنتز، فرآیندی ضروری و بسته به شرایط شاید در مواردی مضر باشد. استفاده از مواد ضدتعرق می‌تواند یکی از روش‌های کارآمد در کاهش میزان هدر رفت آب از طریق جریان تعرق باشد. به کارگیری مواد ضد تعرق راهکاری مؤثر برای کاهش اثرات تنش خشکی بر گیاه و تعدیل کاهش عملکرد ناشی از کمبود آب در نواحی خشک و نیمه خشک است. در واقع، مواد ضد تعرق با کاهش تعرق و افزایش کارآیی مصرف آب موجب جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه می‌شوند (۱ و ۲)، که این امر در نتیجه بهبود نسبی وضعیت آب گیاه اتفاق می‌افتد که احتمالا حاصل ذخیره رطوبت در خاک می‌باشد (۲). کاربرد مواد ضد تعرق یک ابزار نوید بخش برای تنظیم تعرق به منظور حفظ آب گیاه در حد مطلوب است و استراتژی‌هایی مانند استفاده از مواد ضد تعرق، پتانسیل تنظیم تعرق را دارند (۳۸). برخی از مواد ضدتعرق با افزایش مقاومت برگ در برابر از دست دادن آب اثرات مخرب تنش خشکی را در گیاه بهبود می‌بخشند (۲۷).

کتیرا هیدروکلوئیدی با کیفیت است که از نظر ساختمان شیمیایی، یک کربوهیدرات آبدوست غیر یکنواخت و بسیار منشعب می‌باشد. کتیرا متشکل از دو جزء اصلی تحت عنوان تراگاکانتیک اسید یا باسورین و تراگاکانتین است. باسورین ۷۰-۶۰ درصد از کل صمغ را به خود اختصاص داده و جزء نامحلول در آب می‌باشد که قابلیت تورم و تشکیل ژل را دارد. جزء دیگر یا تراگاکانتین نیز، در آب حل شده و منجربه ایجاد محلول کلوئیدی می‌شود. باسورین یک جزء اسیدی است که بر اثر هیدرولیز اسیدی، قندهایی نظیر دی-زایلوز، ال-فوکوز دی گالاکتورونیک اسید، و مقدار کمی ال-رامنوز تولید می‌کند. جزء اسیدی این مولکول نیز در ارتباط با کاتیون‌های کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌باشد. خواص صمغ کتیرا به مقدار زیادی به باسورین ارتباط دارد. تراگاکانتین، به عنوان جزء پلی‌ساکاریدی خنثی محسوب می‌شود که ساختار آن متشکل از واحدهای متوالی دی-گالاکتوز است و زنجیره‌های منشعب ال-آرابینوز به آن متصل می‌باشد، همچنین گروه‌های متوکسیل نیز به مقدار قابل توجهی در ساختار آن حضور دارند.

در دهه‌های اخیر، کشت گیاهان دارویی در مناطق نیمه‌خشک به سبب وجود میزان مطلوب تابش خورشیدی و مقاومت نسبی در شرایط کم‌آبی مورد توجه واقع گردیده است و به نظر می‌رسد کشت و کار محصولات بومی و سازگار می‌تواند، راه‌گشا باشد (۵). سیاهدانه (*Nigella sativa*) به عنوان یکی از گیاهان دارویی در نواحی مدیترانه‌ای همچون ایران مورد کشت قرار می‌گیرد و بروز تنش خشکی در این نواحی رشد و عملکرد این گیاه را نیز مانند سایر گیاهان کاهش می‌دهد (۱۳). بهبود عملکرد محصولات زراعی تحت تنش خشکی، هدف پژوهشگران کشاورزی در سراسر جهان است (۲۴) و پیدا کردن راهکارهایی که بتواند اثرات کمبود آب بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی را کاهش دهد و موجب بهبود رشد و عملکرد این گیاهان گردد می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. یکی از راهکارهای کاهش اثرات کمبود آب، بهره‌گیری از مواد ضدتعرق است، نتایج تحقیقی نشان داده است مصرف مواد ضدتعرق قبل از مرحله گلدهی سبب کاهش عقیمی دانه‌های گندم می‌شود (۱). همچنین در تحقیقات دیگری تأثیر مثبت مواد ضدتعرق بر محصولات مختلفی از قبیل گندم (۲۱)، نعنا (۳۵) و فلفل دلمه‌ای (۸) گزارش شده است. با توجه به خاصیت پوشش دهندگی ژل کتیرا، که این ماده به‌عنوان پوشش ضد تعرق می‌توان در راستای کاهش میزان هدررفت آب از طریق تعرق، بدون کاهش رشد و عملکرد گیاه استفاده کرد. بنابریان، هدف از انجام این مطالعه، بررسی تأثیر محلول‌پاشی دزهای مختلف کتیرا بر محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل، خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری بود تا در صورت وجود تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد گیاه در شرایط کمبود آب، ماده کتیرا به عنوان یک ماده ضد تعرق جدید با منشاء آلی مطرح گردد و به کشاورزی جهان معرفی شود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر مواد ضد تعرق بر خصوصیات کمی و کیفی در پاسخ به رژیم‌های مختلف آبیاری در گیاه سیاهدانه تحقیقی به صورت گلدانی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه کردستان از ۱۰ خرداد ماه تا ۲۰ شهریور ماه سال ۱۳۹۷ اجرا شد. شدت نور به طور متوسط در حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بود. حداقل و حداکثر دمای گلخانه به ترتیب ۱۸ و ۳۳ درجه سانتی‌گراد بود. متوسط رطوبت نسبی هوای داخل گلخانه در حدود ۲۷ درصد حفظ شد. گلدان‌های پلاستیکی (به قطر ۳۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و وزن ۴۰۰ گرم) با ۱۱۳۱۶ گرم خاک که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است، پر شدند. با توجه به آزمون خاک، ۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2O) و ۷۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5) قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. با استفاده از صفحات فشاری، مقدار ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم اندازه‌گیری گردید که به‌ترتیب ۱۳/۵ و ۱۲/۳ کیلوگرم بود. با توجه به مساحت گلدان (مساحت ۷۰۶/۵ سانتی‌متر مربع) و کشت با تراکم ۲۰۰ بوته در متر مربع، در هر گلدان ۱۴ بذر سیاهدانه (تهیه شده از شرکت پاکان بذر اصفهان) کشت گردید. تیمارهای آبیاری برای

اعمال شرایط تنش از یک هفته قبل از گلدهی (در مرحله شروع غنچه‌دهی) به مدت ۴۰ روز (۹ مرحله) شروع شد و تا ۱۰ روز قبل از برداشت (رسیدگی فیزیولوژیک) ادامه داشت. گلدان‌ها در هر نوبت آبیاری جابجا می‌شدند. اعمال تیمار آبیاری (درصد از ظرفیت زراعی) در گلدان‌ها به روش وزنی انجام شد. دور آبیاری هر ۵ روز یک‌بار بود. ملاک عمل، وزن گلدان در آبیاری کامل بود و بعد از ۵ روز میزان آبی که نیاز بود تا به ظرفیت زراعی برسد، تعیین و مصرف می‌شد. برای جلوگیری از بروز خطای وزن بوته‌ها در تعیین وزن گلدان‌ها، برای هر تیمار چند گلدان اضافی کشت شد تا با استفاده از بوته‌های مشابه در گلدان‌های مذکور، وزن بوته‌ها از وزن گلدان کسر شود. برای تیمارهای ۴۰ و ۷۰ درصد آبیاری، به میزان ۴۰ و ۷۰ درصد آب مورد نیاز تیمار آبیاری کامل، آب مصرف شد (۳۰).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Characteristics of the used soil in the experiment

بافت Texture	ماده آلی Organic carbon (%)	پی‌اچ pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available potassium (ppm)	فسفر قابل دسترس Available phosphorous (ppm)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)
لوم شنی Loamy Sand	0.8	7.6	0.41	194.5	1.3	0.09

محلول‌پاشی ماده کتیرا در مرحله آغاز غنچه‌دهی انجام شد. به این منظور مقادیر توزین شده (صفر، ۱/۲۵، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ گرم) کتیرای برداشت شده از مراتع استان کردستان (*Astragalus gummifer*) در یک لیتر آب ولرم ریخته شد و پس از ۲۴ ساعت به وسیله مخلوط کن به مدت ۵ دقیقه میکس شد تا به‌طور کامل یکنواخت گردد. محلول‌پاشی ماده این ماده با استفاده از سم‌پاش پشتی مدل Shark با فشار ثابت ۲/۴ بار و حجم ۲۵۰ لیتر آب در هکتار انجام گرفت. به منظور ممانعت از پاشیده شدن این ماده به گیاهان گلدان‌های مجاور، در زمان محلول‌پاشی از یک پرده نایلونی بین گلدان‌ها استفاده شد. تمامی صفات فیزیولوژیک (محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II) در ۱۵ روز پس از اعمال تیمارها در مرحله شروع تشکیل کپسول اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ به روش جیون و همکاران (۱۸) انجام گرفت. سنجش میزان کلروفیل توسط اسپکتروفتومتر و به روش آرنون (۳) انجام شد. اندازه‌گیری فتوشیمیایی فتوسیستم II توسط دستگاه فتوسنتزمتر (mini PPM-200/300, EARS, Netherlands) انجام گرفت، به این منظور از بخش کناری جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته (با فاصله از رگبرگ میانی) اندازه‌گیری شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل: فلورسانس اولیه برگ خو گرفته به روشنایی (F_0)، بیشینه فلورسانس برگ خو گرفته به نور (Fm)، فلورسانس متغیر ($Fv= Fm- F_0$) و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) بودند (۲۳). برای اندازه‌گیری صفات مرتبط با رشد و عملکرد سیاهدانه، در مرحله رسیدگی نهایی بوته‌های هر گلدان برداشت شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول و تعداد دانه در کپسول در ۱۰ بوته و عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به‌صورت گرم در ۱۰ بوته اندازه‌گیری شد (رطوبت دانه در زمان برداشت ۷ درصد بود). بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ver. 9.3 انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD استفاده گردید و نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نشان دهنده تأثیر معنی‌دار سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف کاربرد کتیرا است (جدول ۲) به نحوی‌که اثرات ساده سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا در بر مقادیر صفات ذکر شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید. اثر متقابل سطوح آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا نیز بر صفات محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل کل، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، ارتفاع بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد و روی تعداد کپسول در بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود.

محتوای نسبی آب برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار گردید (جدول ۲). در این مطالعه، گیاهان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری دارای محتوای نسبی آب برگ متفاوتی بودند و تقریباً در تمامی غلظت‌های مصرف کتیرا بیشترین و کمترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در تیمار آبیاری کامل و تنش شدید خشکی مشاهده شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات آبیاری و عصاره کتیرا بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد سیاهدانه

Table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of irrigation regimes and tragacanth gum application on black cumin morpho-physiological and yield traits

منابع تغییر S.O.V	Df	محتوای نسبی آب برگ RWC	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارآیی فتوسیستم PS II	ارتفاع بوته Plant height	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per Plant	تعداد دانه در بوته Number of grain per Plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
سطوح آبیاری Irrigation(I)	2	16.4**	27.4**	151.8**	69.9**	14.01**	132049**	181.3**	42.7**
غلظت کتیرا Tragacanth concentration (T)	5	0.93**	0.38**	19.7**	20.8**	0.17**	3794**	8.4**	5.6**
I×T	10	0.44**	0.14**	8.1**	10.2**	0.09*	3791**	4.2**	3.7**
خطا Error	36	0.018	0.003	1	2.34	0.038	28.4	0.31	0.38
ضریب تغییرات C.V(%)	4.3		5.1	6.7	4.7	5.8	7.1	5.3	7.4

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

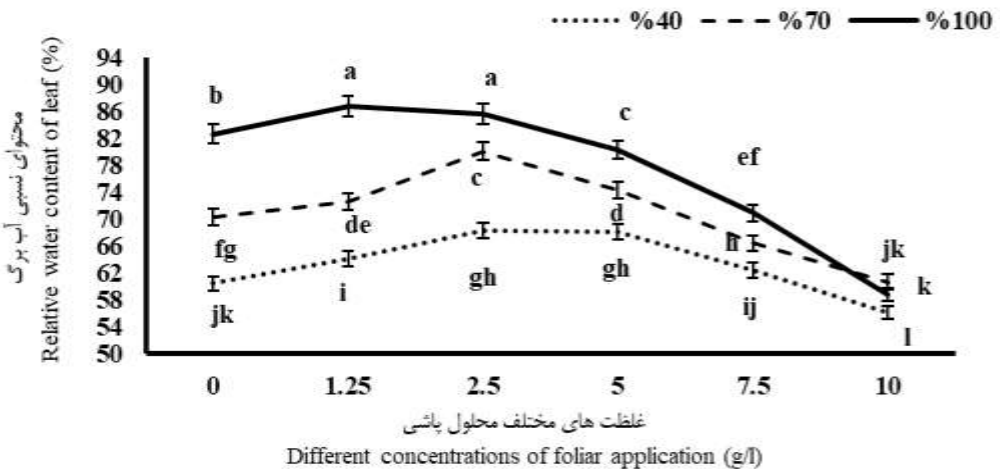
ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

تأثیر غلظت محلول‌پاشی کتیرا در رژیم‌های مختلف آبیاری، کاملاً متفاوت بود. در شرایط آبیاری کامل و تنش متوسط خشکی بالاترین محتوای نسبی آب برگ به ترتیب در کاربرد غلظت های ۱/۲۵ و ۲/۵ گرم در لیتر کتیرا به‌دست آمد و کاربرد غلظت‌های بالاتر کاربرد این ماده باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ شد به طوری‌که مصرف غلظت‌های ۵ گرم در لیتر و بیشتر برای آبیاری کامل و بیشتر از ۵ گرم در لیتر برای تنش متوسط خشکی، محتوای نسبی آب برگ گیاه را نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۱). در گیاهان تحت تنش شدید خشکی، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در غلظت ۵ گرم در لیتر (۶۸/۱ درصد) حاصل شد و غلظت‌های بیشتر از آن منجر به کاهش محتوای نسبی آب برگ شد. محتوای نسبی آب برگ معیاری از مقاومت به خشکی می‌باشد و در شریط تنش خشکی به دلیل کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه‌ها، کاهش می‌یابد (۳۴). بالا بودن محتوی نسبی آب برگ در شرایط محلول‌پاشی گیاه سیاهدانه توسط ماده کتیرا ممکن است به علت وجود سازوکارهای کاهش دهنده تلفات آب از روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها) باشد. اثر منفی ماده کتیرا در غلظت‌های بالا بر محتوی نسبی آب برگ نیز ممکن است ناشی از مسدود شدن کامل و طولانی مدت روزنه‌ها و عدم ایجاد مکش لازم در گیاه برای جذب آب از خاک باشد. مقدار نسبی آب برگ به‌طور مستقیم با آماس سلول و پتانسیل آب گیاه در ارتباط است. در ارتباط با تأثیر مواد ضد تعرق بر محتوای نسبی آب، دل آمور و همکاران (۸) اعلام داشتند که مواد ضد تعرق موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ فلفل دلمه‌ای در شرایط تنش می‌شود. در همین ارتباط یانگ و همکاران (۴۳) نیز بیان داشتند که کاربرد مواد ضد تعرق سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ ذرت شد، بدون اینکه در تبادلات گازی اختلال ایجاد کند.

محتوای کلروفیل کل

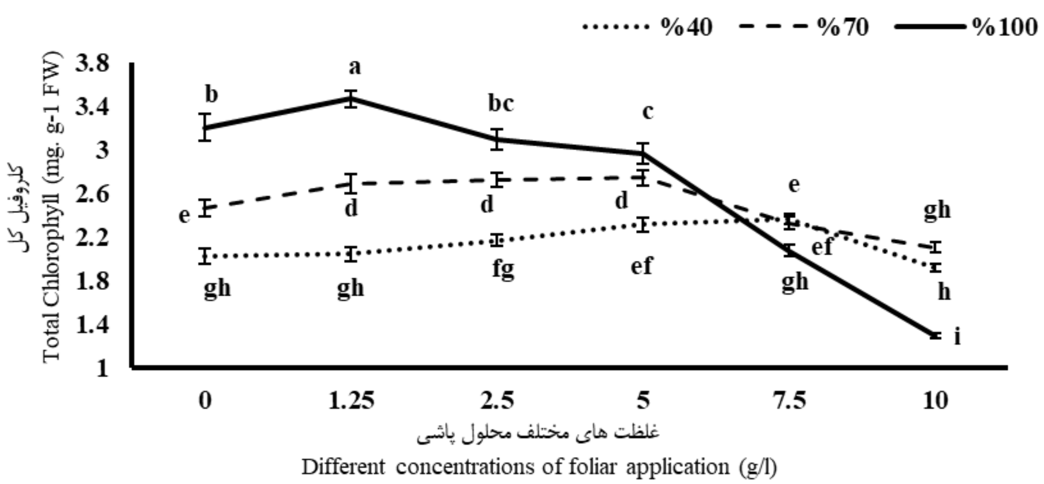
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر محتوای کلروفیل کل برگ در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) معنی‌دار بود (جدول ۲). در مجموع، مقادیر بیشتر محتوای کلروفیل کل در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد و تنش خشکی، محتوای کلروفیل کل را کاهش داد (شکل ۲). محققان دیگر نیز تأثیر منفی تنش‌خشکی بر مقادیر کلروفیل گیاه سیاهدانه و درخت شاد را بیان داشته‌اند (۲۰ و ۴۴). کاهش غلظت کلروفیل، محدودیت‌های متابولیکی غیر روزنه‌ای فتوسنتز را در شرایط تنش خشکی به دنبال دارد، بنابراین حفظ غلظت کلروفیل به ثبات فتوسنتز در شرایط تنش خشکی کمک می‌کند (۳۳).

بررسی تأثیر محلول‌پاشی کتیرا بر محتوای کلروفیل کل گیاه سیاهدانه نشان داد که در تیمار آبیاری کامل، بیشترین محتوای کلروفیل کل گیاه در غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر کتیرا به دست آمد. مصرف غلظت‌های بالاتر این ماده باعث کاهش محتوای کلروفیل برگ گردید به طوری که کاربرد غلظت ۵ گرم در لیتر و بالاتر از آن یعنی غلظت‌های ۷/۵ و ۱۰ گرم در لیتر باعث کاهش شدید محتوای کلروفیل کل گیاه نسبت به شاهد گردید و در غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا محتوای کلروفیل (۱/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) به مقادیر پایین‌تر از کلروفیل در گیاهان تحت تنش متوسط و شدید خشکی کاهش یافت.



شکل ۱- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محول پاشی صمغ کتیرا بر محتوای نسبی آب برگ گیاه سیاهدانه
Figure 1- The interaction effect of different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the relative water content of black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

در تیمار آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی مصرف کتیرا تا غلظت ۵ گرم در لیتر موجب افزایش محتوای کلروفیل کل نسبت به شاهد شد و غلظت‌های بیشتر از ۵ گرم در لیتر باعث کاهش محتوای کلروفیل کل گیاه گردید به طوری که در مصرف ۱۰ گرم در لیتر ماده کتیرا محتوای کلروفیل کل به طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. در تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی با افزایش غلظت کاربرد کتیرا محتوای کلروفیل کل گیاه نسبت به عدم مصرف آن افزایش یافت، به طوری که غلظت های ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر کتیرا باعث افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل کل گیاه گردید. اما محتوای کلروفیل کل گیاه در غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا کاهش یافت اگرچه تفاوت معنی‌داری با عدم مصرف کتیرا نداشت (شکل ۲). اثراتی که محلول‌پاشی کتیرا و غلظت‌های مختلف آن روی محتوای کلروفیل گیاه در رژیم‌های مختلف آبیاری داشت تقریبا به طور کامل از اثرات این ماده بر محتوای نسبی آب برگ (شکل ۱)، تبعیت کرد به طوری که هرگونه کاهش در محتوای نسبی آب برگ گیاه باعث کاهش محتوای کلروفیل کل گیاه گردید. یانگ و همکاران (۴۳) عنوان نمودند که کاربرد مواد ضد تعرق به واسطه افزایش محتوای نسبی آب برگ، افزایش محتوای کلروفیل را سبب گردید.



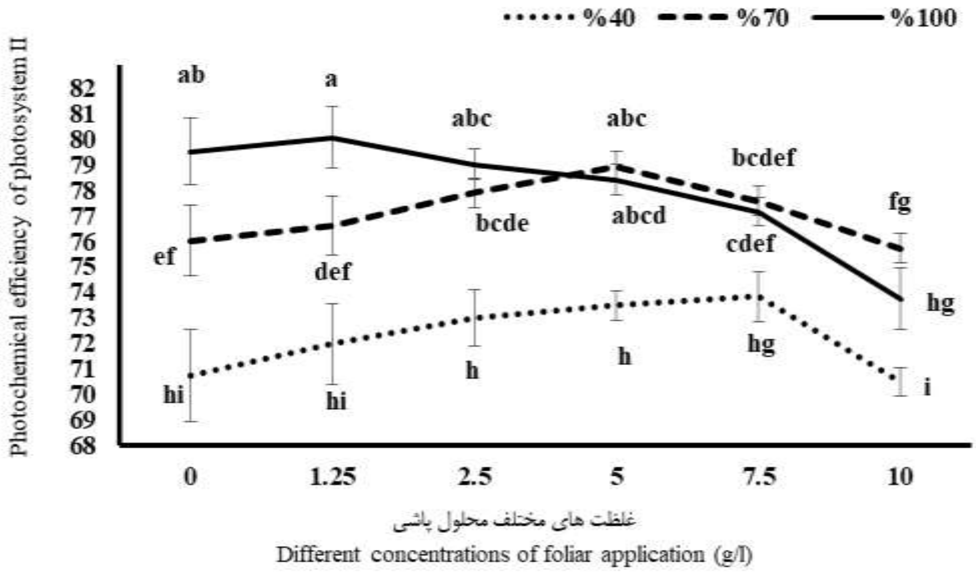
شکل ۲- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری ×محلول پاشی صمغ کتیرا بر محتوای کلروفیل کل در گیاه سیاهدانه
Figure 2- The interaction effect of different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the total chlorophyll content in black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

می‌توان عنوان داشت افزایش یا حفظ محتوای نسبی آب برگ سبب جلوگیری از بروز اثرات خشکی و در نتیجه، بهبود غلظت کلروفیل گیاه می‌گردد. با کاهش محتوای نسبی آب برگ، به‌دلیل بروز اثرات تنش خشکی و تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، کلروفیل گیاه دچار تخریب می‌گردد، این در شرایطی است که حفظ غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به ثبات فتوسنتز در این شرایط کمک می‌کند.

کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد بالاترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II به گیاهان تحت آبیاری کامل در شرایط مصرف ۱/۲۵ گرم در لیتر کتیرا تعلق داشت. بروز تنش خشکی میزان این صفت را کاهش داد به طوری‌که گیاهان تحت تنش شدید خشکی کمترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را داشتند (شکل ۳). تجزیه کلروفیل (شکل ۲) به عنوان یکی از نتایج کاهش محتوای نسبی آب برگ (شکل ۱)، می‌تواند یک مرحله مقدماتی در تخریب پروتئین‌ها باشد (۱۷). خواو و همکاران (۱۹) بیان داشتند که کاهش فتوسنتز یکی از رایج‌ترین اتفاقات طی تنش خشکی می‌باشد. یکی از عوامل اصلی دخیل در کاهش میزان فتوسنتز، کاهش محتوای کلروفیل گیاهان قرار گرفته در شرایط تنش خشکی می‌باشد (۲۹). با توجه به اینکه خشکی تنشی چند بعدی است و از طریق تأثیر بر فتوسیستم II موجب بازدارندگی اجزای دیگر زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود (۲۶ و ۳۹) و باعث بروز تنش اکسیداتیو و ایجاد آسیب‌های غشایی می‌گردد (۴۰). در مطالعه‌ی کبیری و همکارن (۲۰) مشخص شد که تنش خشکی باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ گردید و صدمه به غشاء را افزایش داد. از تبعات کاهش محتوای نسبی آب، کاهش فتوسنتز و فرآوری CO_2 است (۲۲). گزارش شده است که کاهش فتوسنتز در تنش خشکی شدید به دلیل کاهش کارایی فتوسیستم II می‌باشد (۴۱). کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی می‌توانند نشان دهنده این موضوع باشد که انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (۳۷).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، محلول‌پاشی گیاه سیاهدانه توسط ماده کتیرا بر درصد کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر داشت. در تیمار آبیاری کامل، غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر (۸۰/۰۷ درصد)، در آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک غلظت ۵ گرم در لیتر (۷۸/۹۲ درصد) و در آبیاری ۴۰ درصد غلظت ۷/۵ گرم در لیتر (۷۳/۸۴ درصد)، بیشترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را دارا بودند و در شرایط تنش (آبیاری ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) به طور معنی‌داری کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را نسبت به شرایط عدم مصرف این ماده افزایش دادند، اما غلظت‌های بیشتر آنها منجر به کاهش کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II شد و این کاهش در گیاهان تحت آبیاری کامل در غلظت‌های ۷/۵ و ۱۰ گرم در لیتر کتیرا نسبت به عدم مصرف آن کاملاً معنی‌دار بود (شکل ۳). یانگ و همکاران (۴۳) عنوان نمودند کاربرد مواد ضدتعرق، بدون تغییر در هدایت روزنه‌ای افزایش فتوسنتز را سبب شد. اگرچه استفاده از کتیرا منجر به افزایش فتوسیستم II شد اما غلظت‌های بالای کتیرا کاهش فتوسیستم II را باعث گردید که احتمالا به دلیل تغییر در میزان هدایت روزنه‌ای باشد. افزایش میزان کارآیی فتوسیستم II و افزایش میزان فتوسنتز در نتیجه استفاده از کتیرا را احتمالا می‌توان به افزایش ضخامت کوتیکولی سطح برگ، کاهش هدر رفت آب و در نتیجه، افزایش میزان محتوای نسبی آب برگ (شکل ۱) نسبت داد. با توجه به تأثیر متفاوت غلظت‌های مختلف کاربرد کتیرا در سطوح مختلف آبیاری می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد این ماده به عنوان یک ماده ضدتعرق کاملا وابسته به وضعیت آبی گیاه می‌باشد. میزان کارآیی فتوسیستم II در مصرف غلظت‌های بیشتر از ۱/۲۵ گرم در لیتر کتیرا در شرایط آبیاری کامل نسبت به گیاهان قرار گرفته در شرایط تنش خشکی، کاهش یافت. به نظر می‌رسد که این کاهش در میزان کارآیی فتوسیستم II گیاه با وجود قرارگیری گیاه در شرایط مطلوب دسترسی به آب به سبب تأثیر کتیرا بر کاهش میزان تبادلات گازی گیاه باشد. روزنه‌ها به منظور انجام فرآیند فتوسنتز، دو فرآیند را در کنار یکدیگر انجام می‌دهند که یکی دفع آب و دیگری جذب دی‌اکسیدکربن است. جذب اولیه دی‌اکسیدکربن به دلیل گشودگی در روزنه‌ها همراه با خروج آب می‌باشد، پس هرچه خروج آب محدود شود (در سطوح بالای ترکیبات ضدتعرق) میزان جذب دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد (۶). استفاده از ترکیبات ضدتعرق در شرایط آبیاری مطلوب موجب کاهش در فرآیندهای رشد و فتوسنتز گیاه می‌شود که به سبب اثر سوء این ترکیبات بر فرآیند ورود و خروج گازها در گیاه می‌باشد (۷).



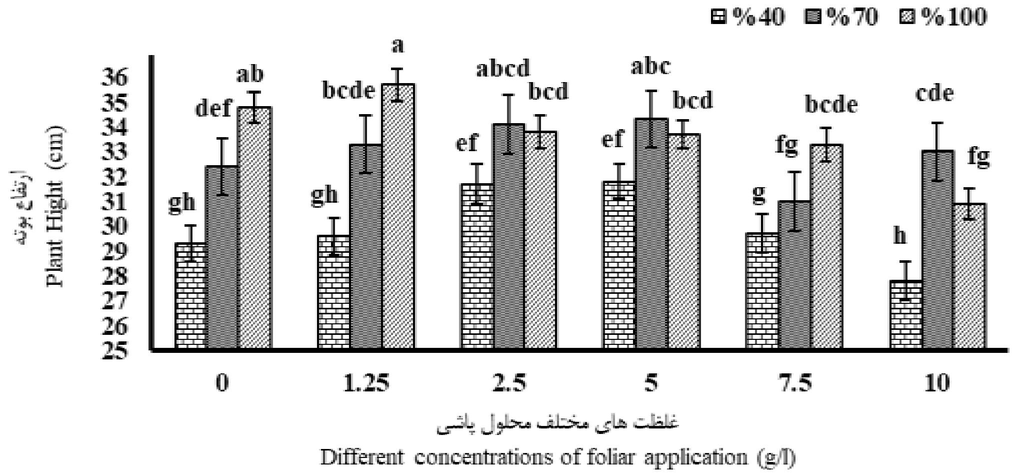
شکل ۳- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول‌پاشی صمغ کتیرا بر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در گیاه سیاهدانه

Figure 3- The interaction effect of different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the photochemical efficiency of photosystem II in black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر ارتفاع بوته سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته (۳۵/۷ سانتی‌متر) در تیمار آبیاری کامل و مصرف کتیرا با غلظت ۱/۲۵ لیتر و کمترین ارتفاع بوته (۲۷/۸ سانتی‌متر) در آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک با غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا مشاهده شد (شکل ۴). شاو و همکاران (۳۲) بیان داشتند که تنش خشکی باعث تغییرات متعددی در گیاهان می‌شود، به‌ویژه تغییرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاهان طی تنش خشکی اتفاق می‌افتد. پسرکلی (۲۸) بیان داشت که ارتفاع بوته صفتی است که بیش از هر عامل دیگری تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی گیاه قرار می‌گیرد، با این حال شرایط محیطی از جمله تنش خشکی، به میزان زیادی ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در واقع طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری به مقدار کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد و از آنجا که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم آبی دارند، بنابراین محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد. هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی به خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع بوته تشخیص داد. در تنش خشکی سرعت فتوسنتز به دلیل بسته شدن روزنه‌ها (ناشی از افزایش آبسیزیک اسید در سلول‌های گیاه)، آسیب دیدگی غشای سلولی و همچنین کاهش فعالیت آنزیم‌های فعال در واکنش‌های تاریکی، کاهش می‌یابد (۱۱)، که یکی از عوامل کاهش رشد گیاه و ارتفاع بوته می باشد. همچنین با افزایش فواصل آبیاری گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد، در نتیجه سهم مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی از جمله ساقه کاهش می‌یابد و باعث کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (۴).

بیشترین ارتفاع بوته گیاه در آبیاری کامل در غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر کتیرا به دست آمد. مصرف غلظت‌های بالاتر این ماده باعث کاهش ارتفاع گیاه گردید. کاهش ارتفاع بوته از غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر به بالاتر یعنی تا غلظت ۷/۵ گرم با شیب ملایم ادامه داشت و غلظت ۱۰ گرم در لیتر باعث کاهش شدید ارتفاع بوته گیاه گردید. در تیمارهای آبیاری ۷۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک مصرف کتیرا تا غلظت ۵ گرم در لیتر، موجب افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد بدون محلول‌پاشی موجب شد و غلظت‌های بیشتر از ۵ گرم در لیتر باعث کاهش ارتفاع بوته گردید (شکل ۴). در توجیه اثرات مثبت محلول‌پاشی کتیرا می‌توان اظهار داشت که کاربرد ماده ضدتعرق به سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ (شکل ۱)، از بروز اثرات کمبود ازت و تجزیه و تخریب کلروفیل گیاه ممانعت به‌عمل آورد (شکل ۲) و بهبود فتوسنتز گیاه را به دنبال داشت (شکل ۳). در نتیجه، تعادل در تسهیم مواد فتوسنتزی میان بخش هوایی و ریشه را برقرار نمود، که این امر موجب افزایش رشد رویشی و افزایش ارتفاع گیاه سیاهدانه شد.



شکل ۴- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول پاشی صمغ کتیرا بر ارتفاع بوته در گیاه سیاهدانه

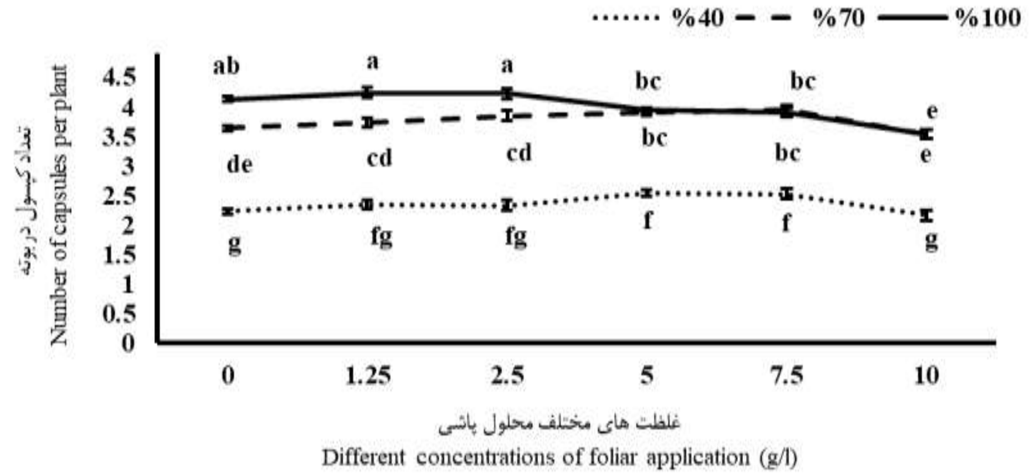
Figure 4- The interaction effect of the different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the plant hight in black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

تعداد کپسول در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر تعداد کپسول در بوته سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی باعث کاهش تعداد کپسول در بوته شد و کمترین تعداد کپسول در بوته در تیمار آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و مصرف غلظت‌های صفر (۲/۲۳ عدد) و ۱۰ (۲/۱۷ عدد) گرم در لیتر کتیرا مشاهده شد. بیشترین تعداد کپسول در بوته در تیمار آبیاری کامل و مصرف کتیرا در غلظت ۱/۲۵ (۴/۲۴ عدد) و غلظت ۲/۵ (۴/۲۲ عدد) به دست آمد و غلظت‌های بیشتر از ۲/۵ باعث کاهش تعداد کپسول در بوته شد اگرچه تنها کاربرد غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول نسبت به شاهد بدون مصرف کتیرا گردید. در آبیاری ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک افزایش غلظت کتیرا تا غلظت ۷/۵ گرم در لیتر سبب افزایش تعداد کپسول در بوته گردید، اما افزایش معنی‌دار این صفت تنها در محلول‌پاشی با غلظت‌های ۵ و ۷/۵ گرم در لیتر کتیرا حاصل گردید. در آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و در شرایط مصرف غلظت‌های ۵، ۷/۵ و ۱۰ گرم در لیتر کتیرا تعداد کپسول در بوته با تعداد کپسول‌های تولید شده در آبیاری کامل در همین غلظت‌های کاربرد کتیرا مشابه بود (شکل ۵). تعداد کپسول در بوته یکی از اجزای اصلی و تعیین کننده عملکرد نهایی سیاهدانه است که تعیین کننده پتانسیل عملکرد می‌باشد. به‌دلیل اینکه در طی تنش خشکی محتوای آب برگ کاهش می‌یابد، سلول‌ها چروکیده و دیواره سلولی پایداری خود را از دست می‌دهد. در نتیجه تنش خشکی، فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد و کاهش فراهم شدن نهاده‌های فتوسنتزی باعث کاهش اجزای عملکرد دانه می‌شود. بنابراین می‌توان عنوان داشت هر گونه تنش کم آبی در طی مراحل رشد و نمو می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر منفی بگذارد و باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شود (۲۸). تعداد کپسول در بوته در سطوح مختلف آبیاری کاملا از وضعیت آب درونی گیاه و پارامترهای مؤثر در رشد گیاه که تحت تأثیر محتوای آب درونی گیاه قرار می‌گیرند، تبعیت می‌کند. تنش خشکی باعث کاهش اجزای عملکرد محصولات می‌گردد، اما مصرف ترکیبات ضدتعرق فتوسنتز را بهبود می‌بخشد، تعرق را کاهش می‌دهد و در نهایت سبب بهبود اجزای عملکرد محصولات می‌شود (۲۱).

تعداد دانه در بوته

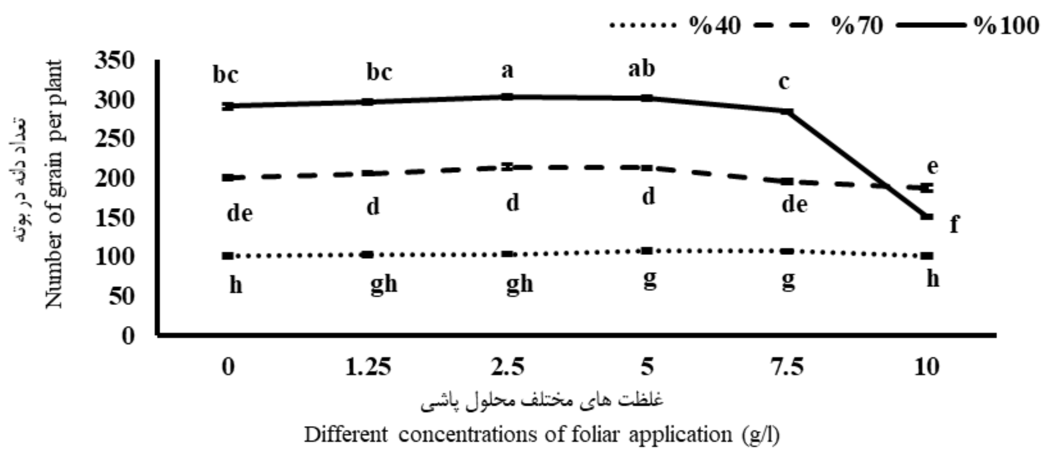
بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر تعداد دانه در بوته در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) معنی‌دار شد (جدول ۲). گیاهان تحت آبیاری ۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک نسبت به آبیاری کامل تعداد دانه کمتری تولید کردند (شکل ۶). در تیمار آبیاری کامل، بیشترین تعداد دانه در بوته (۳۰۲/۱ دانه) در غلظت ۲/۵ گرم در لیتر کتیرا و کمترین تعداد دانه (۱۵۰/۶ دانه) در غلظت ۱۰ گرم در لیتر مشاهده شد، مصرف غلظت‌های بیشتر از ۵ گرم در لیتر باعث کاهش تعداد دانه در بوته شد، به‌طوری که در غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا کاهش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای کاربرد یا عدم کاربرد کتیرا مشاهده گردید.



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول پاشی صمغ کتیرا بر تعداد کپسول در گیاه سیاهدانه

Figure 5- The interaction effect of the different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the number of capsules per plant in black plant. (LSD, *p≤0.05*)

در آبیاری ۷۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بیشترین تعداد دانه در بوته در غلظت‌های ۲/۵ (۲۱۳/۲ دانه) و ۵ (۲۱۲/۴ دانه) گرم در لیتر و کمترین تعداد دانه در بوته (۱۸۶/۴ دانه) در غلظت ۱۰ گرم در لیتر محلول‌پاشی کتیرا به دست آمد. در آبیاری ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بیشترین تعداد دانه در بوته در غلظت‌های ۵ (۱۰۷/۵ دانه) و ۷/۵ (۱۰۶/۵ دانه) گرم در لیتر حاصل گردید که با تیمارهای کاربرد ۱/۲۵ (۱۰۲/۵ دانه) و ۲/۵ (۱۰۲/۹ دانه) گرم در لیتر کتیرا در یک گروه آماری قرار داشتند و کمترین تعداد دانه در بوته در غلظت‌های صفر (۱۰۰/۸ دانه) و ۱۰ (۱۰۰/۹ دانه) گرم در لیتر مشاهده شد (شکل ۶). افزایش تعداد دانه در آبیاری کامل احتمالا به تعداد فولیکول بیشتر، بزرگتر و رشد بهتر بوته‌ها مربوط می‌باشد. با توجه به این مطلب که تعداد دانه در فولیکول در حقیقت ظرفیت مخزن را تعیین می‌کند، لذا هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتر و بیشتری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده است و افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. در بسیاری از گیاهان زراعی، وقوع تنش کم‌آبی به ویژه در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد گل‌های بارور و سقط جنین می‌شود و در نتیجه، کاهش تعداد دانه در بوته اتفاق می‌افتد (۳۱).



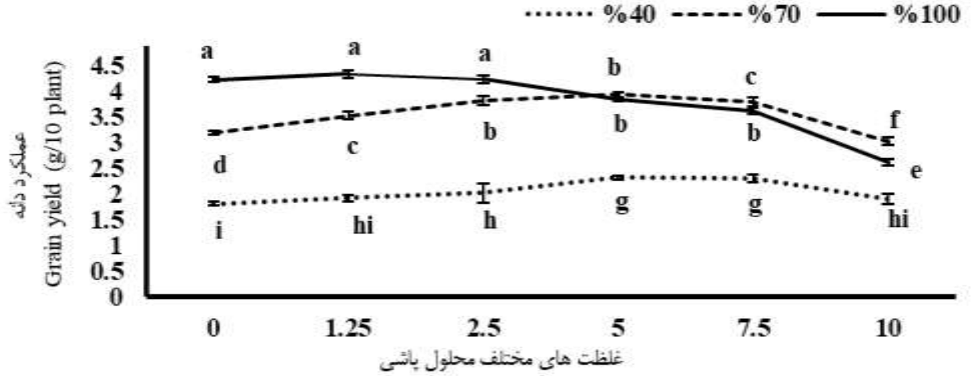
شکل ۶- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول پاشی صمغ کتیرا بر تعداد دانه در بوته گیاه سیاهدانه

Figure 6- The interaction effect of the different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the number of grain per plant in black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

عملکرد دانه

بررسی عملکرد دانه در گیاه سیاهدانه نشان داد که بالاترین عملکرد دانه به ترتیب در غلظت‌های ۱/۲۵، ۰ و ۲/۵ گرم در لیتر کتیرا، به میزان ۴/۳۴، ۴/۲۴ و ۴/۲۳ گرم در ۱۰ بوته در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و بروز تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید به طوری که کمترین عملکرد دانه به مقدار ۱/۸۱ گرم در ۱۰ بوته به گیاهان تحت تنش شدید خشکی و عدم کاربرد کتیرا تعلق داشت (شکل ۷). هر گونه تنش کم آبی در طی مراحل رشد و نمو می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر منفی بگذارد و سبب افت معنی‌دار عملکرد دانه شود (۲۸). با توجه به این امر که تنش خشکی موجب وقوع یک‌سری از تغییرات از جمله کاهش محتوای نسبی آب برگ، افزایش تجزیه کلروفیل و در نهایت کاهش فتوسنتز گیاه می‌گردد، می‌توان اظهار داشت که تنش خشکی با تأثیر منفی بر فتوسنتز، موجبات کاهش ماده‌سازی در گیاه و در نتیجه کاهش اجزای عملکرد دانه (شکل‌های ۵ و ۶) و در نهایت عملکرد دانه را فراهم نمود. در این ارتباط محققان دیگری نیز عنوان داشتند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه سیاهدانه شد (۱۳ و ۳۱).

همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عملکرد دانه نشان داد (شکل ۱۰) محلول‌پاشی گیاه سیاهدانه با ماده کتیرا نسبت به عدم محلول‌پاشی آن در شرایط تنش خشکی عملکرد دانه را به طور قابل توجهی افزایش داد. در تیمار آبیاری کامل، مصرف کتیرا تا غلظت ۱/۲۵ گرم در لیتر عملکرد دانه را افزایش داد، اگرچه این افزایش معنی‌دار نبود و عملکرد به دست آمده برای گیاهان محلول‌پاشی شده توسط مقادیر ۱/۲۵ و ۲/۵ گرم در لیتر با عملکرد دانه در گیاهان محلول‌پاشی نشده تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در این سطح آبیاری افزایش غلظت مصرف کتیرا از ۲/۵ گرم در لیتر به بالاتر باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به گیاهان بدون محلول-پاشی گردید به طوری که در غلظت‌های ۷/۵ و ۱۰ گرم در لیتر مصرف صمغ کتیرا عملکرد دانه نسبت به گیاهان تحت تنش متوسط خشکی در همین غلظت‌های کاربرد کتیرا کاهش معنی‌داری داشت. در گیاهان تحت تنش متوسط خشکی محلول‌پاشی گیاه باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه گردید به طوری که در این سطح آبیاری بالاترین عملکرد دانه معادل ۳/۹۴ گرم در ۱۰ بوته در مصرف ۵ گرم در لیتر کتیرا حاصل گردید و محلول‌پاشی گیاه با این غلظت از کتیرا عملکرد دانه را نسبت به شاهد بدون مصرف کتیرا به مقدار ۲۳/۱ درصد افزایش داد و حتی میزان محصول به دست آمده به طور معنی-داری بالاتر از محصول سیاهدانه در همین غلظت مصرف کتیرا در شرایط آبیاری کامل (۳/۸۴ گرم در ۱۰ بوته) بود. در تنش شدید خشکی نیز مصرف ماده کتیرا تا غلظت ۷/۵ گرم در لیتر عملکرد دانه را افزایش داد و مصرف غلظت ۱۰ گرم در لیتر کتیرا منجر به کاهش عملکرد دانه شد، اگرچه تفاوت معنی‌داری با شرایط عدم مصرف کتیرا نداشت. در توجیه اثرات مثبت محلول‌پاشی کتیرا بر عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری می‌توان اظهار داشت که عملکرد دانه کاملاً متاثر از اثراتی بود که غلظت‌های مختلف مصرف کتیرا بر افزایش محتوای نسبی آب برگ (شکل ۱)، کاهش تجزیه کلروفیل (شکل ۲)، افزایش فتوسنتز (شکل ۳)، افزایش رشد رویشی (شکل ۴)، افزایش تعداد کپسول در بوته (شکل ۵) و افزایش تعداد دانه در بوته (شکل ۶) داشت. مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد مواد ضدتعرق، کاهش اثرات تنش خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد را در اثر کاربرد مواد ضدتعرق بیان نموده‌اند (۱۰ و ۴۳).



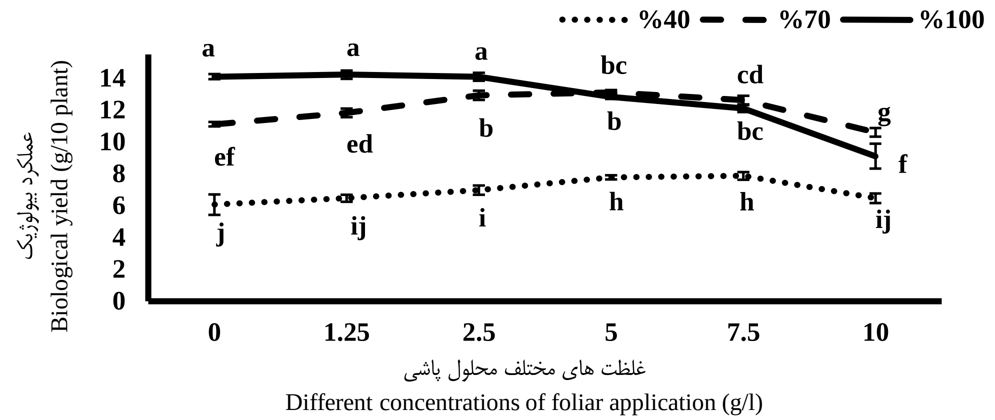
شکل ۷- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول پاشی صمغ کتیرا بر عملکرد دانه گیاه سیاهدانه

Figure 7- The interaction effect of the different levels of irrigation × tragacanth gum foliar application on the grain yield of black cumin plant. (LSD, *p≤0.05*)

عملکرد بیولوژیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس دادهها اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و غلظت‌های مختلف کتیرا بر عملکرد بیولوژیک سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد (P<0.01) معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک گیاه سیاهدانه در غلظت‌های ۱/۲۵، ۰ و ۲/۵ گرم در لیتر کتیرا و در شرایط آبیاری کامل به دست آمد و بروز تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید به طوری که کمترین عملکرد بیولوژیک در گیاهان تحت تنش شدید خشکی و عدم کاربرد و غلظت‌های خیلی پائین یا خیلی بالای کتیرا مشاهده گردید (شکل ۸). رشد گیاه تحت تأثیر مجموعه‌ای از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از قبیل فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون و متابولیسم مواد غذایی است که در افزایش وزن خشک گیاه نیز نقش دارند. این فرآیندها رابطه مستقیم با میزان آب قابل دسترس و تداوم دسترسی به آن دارند. با کاهش میزان آب آبیاری، این فرآیندها مختل می‌شوند و گیاه نمی‌تواند حداکثر پتانسیل ماده خشک خود را تولید کند. کاهش میزان عملکرد تولیدی در طی افزایش خشکی مربوط به کاهش ارتفاع گیاه و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه است. به علاوه تنش خشکی میزان جذب آب و عناصر غذایی، سرعت رشد گیاه، طول دوره رشد گیاه، سطح فتوسنتزی گیاه، ارتفاع گیاه، و سرعت توسعه ریشه را کاهش می‌دهد و تمامی این عوامل در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک در گیاه می‌گردد (۲۸).

ازطرف دیگر، آماس سلولی بر توسعه و تقسیم سلولی تأثیر مستقیم دارد و بدین ترتیب، بین میزان نسبی آب برگ و عملکرد بیولوژیک گیاه ارتباط تنگاتنگی وجود دارد (۴۲). ترکیبات ضدتعرق به سبب جلوگیری از خروج آب از بافت‌ها (افزایش محتوای نسبی آب برگ که در شکل ۱ مشاهده شد) و ممانعت از فعالیت برخی از عوامل تخریب کننده فتوسنتز (جلوگیری از تجزیه کلروفیل و افزایش کارآیی فتوسنتز که در شکل‌های ۲ و ۳ مشاهده شد)، موجب افزایش تولید ماده خشک نسبت به شاهد در شرایط تنش خشکی می‌شوند (۷). ایرمک و همکاران (۱۶) توسعه گیاه، رشد رویشی بیشتر و تولید ماده خشک بیشتر در گوجه فرنگی را در اثر کاربرد مواد ضدتعرق گزارش نمودند.



شکل ۸- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری × محلول پاشی صمغ کتیرا بر عملکرد بیولوژیک گیاه سیاهدانه

Figure 8- The interaction effect of the different levels of irrigation ×tragacanth gum foliar application on the biological yield in black cumin plant.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان دهنده تأثیر متفاوت غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی ماده کتیرا در سطوح مختلف آبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده بود. کاربرد کتیرا به عنوان یک ماده ضد تعرق به واسطه تأثیری که در بهبود محتوای نسبی آب برگ در گیاه سیاهدانه داشت توانست محتوای کلروفیل و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II گیاه را در شرایط تنش حفظ نماید و زمینه را برای رشد رویشی و زایشی فراهم نماید و در نهایت با بهبود صفات مرتبط با عملکرد دانه موجب کاهش اثرات تنش خشکی بر عملکرد دانه سیاهدانه گردد. غلظت مناسب کاربرد کتیرا توانست عملکرد دانه را در شرایط تنش متوسط و شدید خشکی به ترتیب ۱۱/۶۱ و ۲۸/۱۷ درصد نسبت به عدم کاربرد کتیرا در این سطوح آبیاری افزایش دهد. لذا می‌توان اظهار داشت کتیرا می‌تواند به عنوان یک ماده ضد تعرق در مناطقی که در بیشتر سال‌ها با خشکی آخر فصل مواجه هستند معرفی و مورد

استفاده قرار گیرد، اگرچه بایستی مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود.

منابع

1. AbdAllah A.M., Mashaheet A.M., Zobel R., and Burkey K.O. 2019, Physiological basis for controlling water consumption by two snap beans genotypes using different anti-transpirants, Agricultural Water Management 214: 17-27.
2. Abdullah A.S., Aziz M.M., Siddique K.H.M., and Flower K.C. 2015, Film antitranspirants increase yield in drought stressed wheat plants by maintaining high grain number, Agricultural Water Management 159: 11-18.
3. Arnon A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants, Agronomy Journal 23: 112-121.
4. Blum A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?, Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168.
5. Cheeseman J. 2016. Food Security in the Face of Salinity, Drought, Climate Change, and Population Growth. P. 111-123. In: Khan M.A., Ozturk M., Gul B., Ahmed M.Z. (eds.) Halophytes for Food Security in Dry Lands. Academic Press, San Diego.
6. Davenport D.C. 1967. Effects of chemical antitranspirants on transpiration and growth of grass, Journal of Experimental Botany 18: 332-347.
7. Davenport D.C., Hagan R.M., and Martin P.E. 1969. Antitranspirant uses and effects on plant life, California Agriculture 23(5): 14-16.
8. Del Amor F.M., and Jose Rubio S. 2009. Effects of Antitranspirant spray and potassium: calcium: magnesium ratio on photosynthesis, nutrient and water uptake, growth, and yield of sweet pepper, Journal of Plant Nutrition 32(1): 97-111.
9. Fallah S., Malekzadeh S., and Pessarakli M. 2017. Seed priming improves seedling emergence and reduces oxidative stress in *Nigella sativa* under soil moisture stress, Journal of Plant Nutrition 41(1): 29-40.
10. Faralli M., Grove I.G., Hare M.C., Alcalde- Barrios A., Williams K.S., Corke F.M.K., and Kettlewell P.S. 2017. Modulation of *Brassica napus* source-sink physiology through film antitranspirant induced drought tolerance amelioration that is dependent on the stress magnitude, Journal of Agronomy and Crop Science 203(5): 360-372.
11. Farooq M., Wahid A,. Fujita D., Basra S.M.A., and Kobayashi N. 2009, Plant drought stress: Effects, Mechanisms and Management, Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.
12. Flexas J., NIInemets Ü., Gallé A., Barbour M.M., Centritto M., Diaz-Espejo A., Douthe, C., Galmés J., Ribas-Carbo M., and Rodriguez P.L. 2019. Diffusional conductances to CO_2 as a target for increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency, Photosynthesis Research 65(8): 18-23.
13. Haj Seyed Hadi M.R., Darzi M.T., and Riazi G.H. 2016. Black cumin (*Nigella sativa* L.) yield affected by irrigation and plant growth promoting bacteria, Journal of Medicinal Plants and By-products 2: 125-133.
14. He J., Du Y.L., Wang T., Turner N.C., Yang R.P., Jin Y., Xi Y., Zhang C., Cui T., Fang X.W., and Li F.M. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought, Agricultural Water Management 179: 236-245.
15. Irigoyen J.J., Goicoechea N., Antolín M.C., Pascual I., Sánchez-Díaz M., Aguirreolea J., and Morales F. 2014. Growth, photosynthetic acclimation and yield quality in legumes under climate change simulations: An updated survey, Plant Science 226: 22-29.
16. Irmak A., Jones J.W., Stanley C.D., Hansen J.W., Irmak S., and Boote K.J. 1999. Some effects of an antitranspirant (Vapor Gard) on tomato growth and yield, Soil and Crop Science 58: 118-122.
17. Jaleel A.C., Manivannan P., Vahid A., Farooq M., Al-Juburi H.J., Somasudram R., and Vam R.P. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition, Journal of Agriculture and Biology 11(1): 100-105.
18. Jeon M.W., Ali M.B., Hahn E.J., and Paek K.Y. 2006. Photosynthetic pigments, morphology and leaf gas exchange during ex-vitro acclimatization of micropropagated CAM Doritaenopsis plantlets under relative humidity and air temperature, Environmental and Experimental Botany 55: 183-194.
19. João V.A.C., Joaquim A.G.S., Fabrício E.L.C., Juliana R.C., and Milton C.L.N. 2019. The regulation of P700 is an important photoprotective mechanism to NaCl-salinity in Jatropha curcas, Physiologia Plantarum 167(3): 404-417.
20. Kabiri R., Nasibi F., and Farahbakhsh H. 2014. Effect of exogenous salicylic acid on some physiological parameters and alleviation of drought stress in *Nigella sativa* plant under hydroponic culture, Plant Protection Science 50: 43-51.
21. Kettlewell P.S., Heath W.L., and Haigh I.M. 2010. Yield enhancement of droughted wheat by film antitranspirant application: rationale and evidence, Journal of Agricultural Science 1: 143-147.
22. Lawlor D.W., and Cornic G. 2002, Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants, Plant and Cell Environmental 25: 275-294.
23. Li G.M., Liu B.B., Wu Y., and Zou Z.R. 2008. Interactive effects of drought stresses and elevated CO_2

concentration on photochemistry efficiency of cucumber seedlings, Journal of Integrative Plant Biology 50(10): 1307-1317.

24. Manavalan L.P., and Nguyen H.T. 2017. Drought Tolerance in Crops: Physiology to Genomics. p. 1-23. In: Shabala S. (eds) Plant Stress Physiology. Wallingford Oxfordshire, Boston.
25. Mascher R., Nagy E., Lippmann B., Hornlein S., Fischer S., Scheiding W., Neagoe A., and Bergmann H. 2005. Improvement of tolerance to paraquat and drought in barley (*Hordeum vulgare* L.) by exogenous 2-aminoethanol: effects on superoxide dismutase activity and chloroplast ultrastructure, Plant Science 168: 691-698.
26. Miyata K., Ikeda H., and Nakaji M. 2016. Rate constants of PSII photoinhibition and its repair, and PSII fluorescence parameters in field plants in relation to their growth light environments, Plant Cell Physiology 56: 1841-1854.
27. Moftah A.E. 1997. The response of soybean plants, grown under different water regimes, to antitranspirant applications, Annals of Agricultural Sciences 35: 263-292.
28. Pessarkli M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker, New York.
29. Prakash M., and Ramachandran K. 2000. Effects of chemical ameliorants on stomatal frequency and water relations in brinjal (*Solanum melongena* L.) under moisture stress conditions, Journal Agronomy Crop Science 185: 237-239.
30. Poormansour S., Razzaghi F., Sepaskhah A., and Moosavi A. 2019. Wheat growth and yield investigation under different levels of biochar and deficit irrigation under greenhouse conditions, Journal of Water and Irrigation Management 9(1): 15-27. (In Persian with English abstract)
31. Rezaei-Chiyaneh E., Seyyedi S., Ebrahimian M., Siavash E., Moghaddam S., and Damalas C.A. 2018. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.) Esmaeil, Industrial Crops and Products 112: 741-748.
32. Shao H.B., Chu L.Y., Jaleel C.A., and Zhao C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants, Comptes Rendus Biologies 331: 215-225.
33. Shimakawa G., and Miyake C. 2018. Oxidation of P700 Ensures Robust Photosynthesis, Frontiers in Plant Science 172(3): 1443-1450.
34. Sinclair T.R., and Ludlow M.M. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unful filled potential of plant water potential, Australian Journal of Plant Physiology 12: 213-217.
35. Singh S., and Singh A. 1999. Use of dust mulch and anti-transpirant for improving water use efficiency of menthol mint (*Mentha arvensis*), Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 21: 29-33.
36. Sita K., Sehgal A., Kumar J., Kumar S., Singh S., Siddique K.H.M., and Nayyar H. 2017. Identification of high-temperature tolerant lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes through leaf and pollen traits, Frontiers in Plant Science 8: 731-744.
37. Takagi D., Ishizaki K., Hanawa H., Mabuchi T., Shimakawa G., Yamamoto H., and Miyake C. 2017. Diversity of strategies for escaping reactive oxygen species production within photosystem I among land plants: P700 oxidation system is prerequisite for alleviating photoinhibition in photosystem I, Physiology Plant 161: 56-74.
38. Thakuria R.K., Singh H., and Singh T. 2004. Effect ofirrigation and antitranspirant on biometric components, seed yield and plant water-use of spring sunflower (*Helianthus annuus*), Indian Journal of Agronomy 49: 121-123.
39. Tikkanen M., Mekala N.R., and Aro E.M. 2014. Photosystem II photoinhibition-repair cycle protects photosystem I irreversible damage, Biochimica et Biophysica Acta 1837: 210-215.
40. Tiryaki I. 2016. Drought stress and tolerance mechanisms in alfalfa (*Medicago sativa* L.), KSU Journal Natural Science 19: 296-305.
41. Xu Z., and Zhou Z. 2005. Effects of water stress on photosynthesis and nitrogen metabolism in vegetative and reproductive shoots of Leymus chinensis, Photosynthetica 43(1): 29-35.
42. Yadav R.S., and Bhushan C. 2001, Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotype, Indian Journal Agriculture Research 2: 104-107.
43. Yang W., Guo S., Li P., Song R., and Yu J. 2018. Foliar antitranspirant and soil superabsorbent hydrogel affect photosynthetic gas exchange and water use efficiency of maize grown under low rainfall conditions, Journal of the Science of Food and Agriculture 99(1): 350-359.
44. Ying Y.Q., Song L.L., Jacobs D.F., Mei L., Liu P., Jin S.H., and WU J.S. 2015. Physiological response to drought stress in Camptotheca acuminata seedlings from two provenances, Frontiers in Plant Science 6: 1-6.

Journal of Horticultural Science
Vol. 35, No.4, Winter 2022, P. 631-645
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۶۴۵-۶۳۱
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Tragacanth on some Morpho-physiological Characteristics related to Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Yield under Drought Stress Conditions

Y. Sohrabi[1]*-H. Kiani[2]
Received: 17-03-2021
Accepted: 10-05-2021

Introduction: In fact, drought is stress that restricts the plant photosynthesis and also it causes of chlorophyll content changes and damage to photosynthetic structures. One of the important reasons that environmental stresses such as drought reduce the growth and photosynthesis ability of the plant is a disturbance in the balance between production and removal of free oxygen radicals. Transpiration is a necessary process for photosynthesis and growth of plants but depending on the conditions that may be harmful in some cases. Therefore, the use of anti-transpirant can be one of the most effective methods for reducing the amount of water lost through transpiration and adjustment the reduction of the yield due to water deficiency in arid and semi-arid regions. Climate change happened on earth and the intensification of stresses caused by it, especially drought stress in arid and semi-arid regions such as Iran. Therefore, finding strategies that can reduce the effects of water shortages on plant growth and yield can be very important. The aim of the present study was to investigate the effect of irrigation regimes and application of different concentrations of tragacanth (naturally dried exudate from some *Astragalus* species) on black cumin plant.

Materials and Methods: This research was carried out in a factorial experiment based on completely randomized design with three replications in a greenhouse of the Agriculture College of Kurdistan University in 2018. The experimental factors were including irrigation at three levels of 100% (full irrigation), 70% (mild drought stress), and 40% (severe drought stress) of field capacity of soil and spraying with tragacanth extract at six concentrations of 0, 1.25, 2.5, 5, 7.5, and 10 g/L. Spraying of this material was done using a back sprayer (Shark model) with a constant pressure of 2.4 bar and a volume of 250 liters of water per hectare., The normality test was performed using the Mini Tab software, before the data were analyzed. After ensuring the normality of data, analysis of variance was performed using SAS ver. 9.3. LSD (Least significant difference) was used to compare the mean of treatments. The graphs are drawn using Excel software.

Results and Discussion: The results showed that increased drought stress intensity (irrigation reduction) led to the reduced leaf relative water content, Total chlorophyll content, efficiency of photosystem II, plant height, number of capsules per plant, mean number of seeds per plant, biological yield and grain yield. The positive effects of tragacanth consumption on reducing and modifying the effects of drought stress on different levels of irrigation and different concentrations of tragacanth were different. In the present study, under full irrigation conditions, lower concentrations of tragacanth were useful, while in drought stress conditions, higher concentrations of tragacanth (except 10 g/L) were useful. In full irrigation, the concentration of 1.25 g/L was positive for all studied traits. In mild drought stress, the use of higher concentrations of tragacanth up to 5 g/L had the best effect and more concentrations resulted in a reverse effect on studied traits. In severe drought stress, the use of more concentrations of tragacanth extract was beneficial and improved the studied traits up to 7.5 g/L, but 10 g/L had a negative effect on these traits.

Conclusion: The results of this study indicated that the different effects of various concentrations of tragacanth material in different levels of irrigation on studied traits of black cumin. Therefore, it can be concluded that the application of different concentrations of tragacanth gum was completely dependent on the plant's water status. Therefore, using higher concentrations of tragacanth gum in drought stress conditions had a more positive effect on the plant, and vice versa, using a lower concentration of this material was useful in full irrigation. The effect of tragacanth gum on reducing and modifying the effects of drought stress in different

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Student in Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: y.sohrabi@uok.ac.ir)
DOI: 10.22067/JHS.2021.69276.1033

plants requires further studies and extensive research. Tragacanth gum can be introduced as a new anti-transpirant agent with natural origin and its application can be useful and recommended in areas exposed to drought stress.

Keywords: Anti-transpirant agent, Chlorophyll, Grain yield, Photosystem II efficiency, Relative water content